

巻込み式ジオグリッドを用いた石垣補強に関する検討

前田工織(株) 正会員 ○大山 謙吾 正会員 辻 慎一朗 正会員 久保 哲也
国土舘大学 正会員 橋本 隆雄

1. はじめに

近年、城郭石垣の補強工法のひとつとして、ジオグリッドを用いた補強土工法が適用されているが、栗石のような粒径の大きい材料に対して、ジオグリッドの目合いを含む形状等が補強効果に与える影響、耐震性、適用性について十分に検証されていない。本研究では、ジオグリッド模型を用いた一面せん断試験や実物を用いた現場引抜き試験により、城郭石垣補強に適したジオグリッドに関する検討を行った。

2. ジオグリッドによる石垣補強効果の検証

2.1 ジオグリッド模型を用いた一面せん断試験

城郭石垣に用いられている栗石とジオグリッドの摩擦特性を確認するため、実物の栗石の 1/10 スケールである岩石質材料(単粒度砕石 4 号:粒径 20~30mm)と、写真-1 に示すように、ジオグリッド模型(引張強度 1.29kN/m, 目合い 1.8×1.8mm)の目合いを 1~3 倍に変化させて、一面せん断試験を実施した(図-1 および写真-2 参照)。試験結果を図-2 および表-1 に示す。同図には単粒度砕石の安息角(42°)も示してある。目合い 1 倍と 2 倍は単粒度砕石の安息角より大きいせん断抵抗角が得られているが、目合い 3 倍は低下している。また、ジオグリッドの目合いが変化するとせん断抵抗角とともに粘着力が変化する場合があり、ジオグリッドの目合いに砕石が入り込んで、ジオグリッドの交点が抵抗するためと考えられる。一方、目合いが過大になるとジオグリッドの交点の負担が大きくなることが考えられる。したがって、岩石材料の粒径とジオグリッドの目合いは両者の摩擦特性に影響を及ぼし、本試験の条件では岩石材料の粒径の 6~12%(粒径 30mm に対し目合い 1.8~3.6mm)の目合いのジオグリッドが城郭石垣における栗石の補強に適していることが確認された。

2.2 実物大の石垣におけるジオグリッドの現場引抜き試験

実物大の石垣模型を構築して、栗石(粒径 200~300mm)と、図-3 に示すアラミド繊維とポリエステル繊維を交織させた柔軟性のあるジオグリッド(引張強度:縦 80×横 80kN/m, 目合い 18×16mm)を用いて引抜き試験を行った。引抜き試験の状況を写真-3、-4 および図-4 に示すように、石垣模型の内部に敷設し



写真-1 ジオグリッド模型

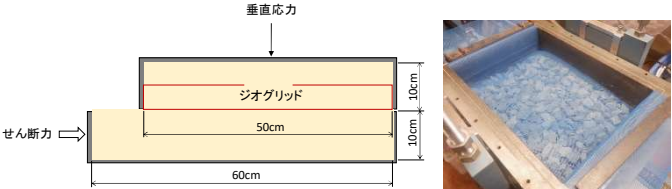


図-1 一面せん断試験模式図 写真-2 ジオグリッド設置状況

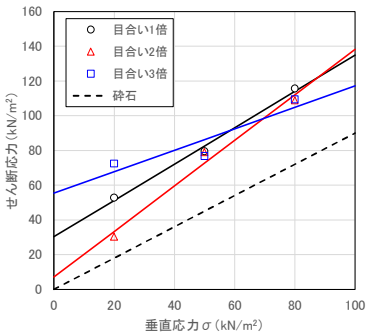


図-2 垂直応力-せん断応力関係の比較

表-1 強度定数

	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗角 φ (°)
目合い 1 倍	30.3	46.3
目合い 2 倍	7.2	52.6
目合い 3 倍	55.4	31.7

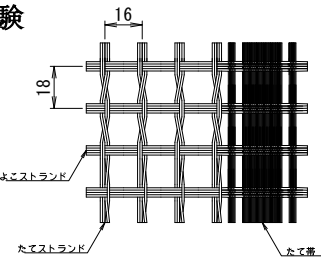


図-3 ジオグリッド 写真-3 ジオグリッド敷設状況



キーワード 城郭石垣, ジオテキスタイル補強土, ジオグリッド, 一面せん断試験, 現場引抜き試験

連絡先 〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1 (株)前田工織 東京本社 TEL 03-6402-3944

たジオグリッドを油圧ジャッキで引抜く方法で行った。図-5 に示すように、引抜き試験の結果を粘着力 $c^*=1.1\text{ kN/m}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi^*=47.5^\circ$ が得られ、十分な摩擦抵抗を確認した。

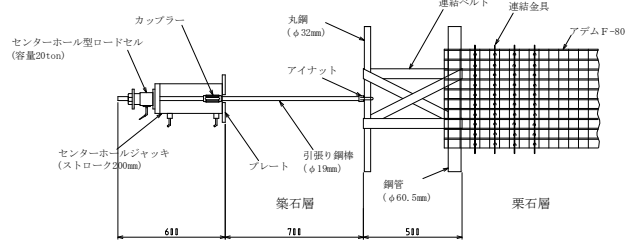


図-4 引抜き試験の概要図

3. 巻込み式ジオグリッド補強土の適用性

ジオグリッドを用いた補強土工法は、鋼製枠を用いたタイプの補強土壁が多く採用されているが、城郭石垣に適用する場合、築石や栗石とのなじみや劣化等の問題により、築石背面に壁面材を設置するのが困難である。このため、図-6 に示すように、築石の背面でジオグリッドを栗石側に巻込む形式の補強土工法を開発した。本工法は、前項に示した摩擦特性を持つジオグリッドで栗石を巻込むことにより、地震の作用による割栗石の流動化を抑制し、ジオグリッドと栗石の摩擦抵抗によって巻込み構造体としての一体化を図ったものである。本工法の耐震性については、実物大の石垣模型（高さ 3.5m、勾配 1:0.2）に対する振動台実験により確認しており、最大加速度 714gal の加振時における最大水平変位量は 90mm （高さの 2.6%）程度であった¹⁾。本工法の実現場への応用として、長野県内の城郭石垣において、巻込み式ジオグリッドと鉄筋挿入工の併用構造が採用された。断面図を図-7 に、施工状況を写真-5 に示す。本工法の施工性は良好であることが確認された。

4. おわりに

本論文では、城郭石垣補強に適したジオグリッドの目合い（18～36mm）と摩擦特性を確認し、巻込み式ジオグリッド補強土の耐震性と施工性を示した。石垣は多様な現場状況に応じた設計・施工を行う必要があるため、今後、より合理的な設計手法の導入や製品開発を行うことによって、石垣の文化財としての価値の保存に貢献していく予定である。

参考文献

- 1) 橋本隆雄, 中澤博志, 池本敏和, 宮島昌克: 大型振動台実験による石垣補強技術の耐震性評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 77 (3), pp. 405-417, 2021

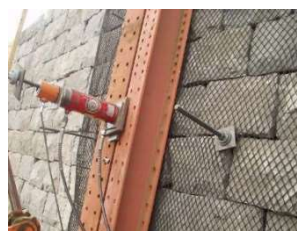


写真-4 垂直応力-せん断応力の関係

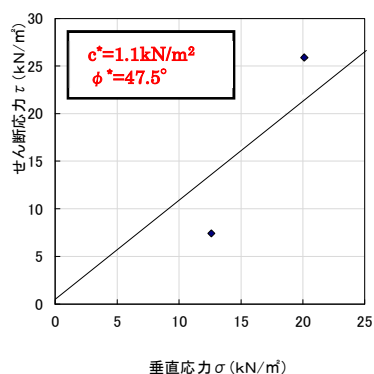


図-5 垂直応力-せん断応力の関係

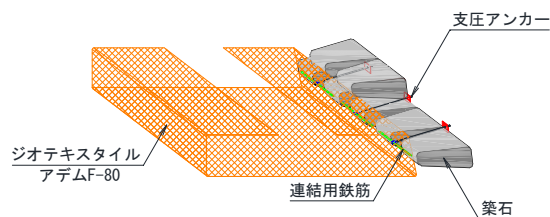


図-6 巻込み式ジオグリッドの概要図

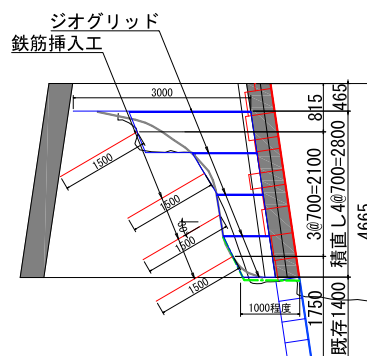


図-7 巻込み式ジオグリッド+鉄筋挿入工の断面図



写真-5 巻込み式ジオグリッドの施工状況